



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 100 04 390 C 2

51 Int. Cl.7:  
H 01 L 35/32  
H 01 L 35/34  
H 01 L 35/14

21 Aktenzeichen: 100 04 390.9-33  
22 Anmeldetag: 2. 2. 2000  
43 Offenlegungstag: 16. 8. 2001  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 2. 5. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

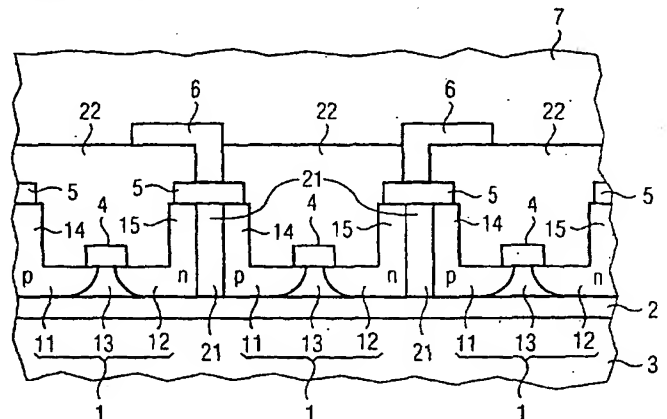
73 Patentinhaber:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE  
74 Vertreter:  
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München

72 Erfinder:  
Strasser, Marc, Dipl.-Phys., 81675 München, DE;  
Földner, Marc, Dipl.-Phys., 81539 München, DE;  
Aigner, Robert, 81675 München, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 199 22 564 A1  
DE 197 16 343 A1  
EP 6 85 893 A1  
JP 11-2 98 052 A  
JP 10-3 03 469 A  
IEEE Proc. 16th Int. Conf. on Thermoelectrics  
1997, S. 575-577;  
Sensors and Actuators 74 (1999), 246-250;

54 Thermoelektrischer Generator und Verfahren zu seiner Herstellung

57 Thermoelektrischer Generator,  
bei dem eine mit Dotierungen versehene Schicht aus Halbleitermaterial vorhanden ist, die nach einer Schichtebene ausgerichtet und zwischen thermisch leitenden Materialien angeordnet ist,  
bei dem die Schicht in Bereiche (1) strukturiert ist, die jeweils einen p-leitend dotierten Abschnitt (11) und einen n-leitend dotierten Abschnitt (12) aufweisen,  
bei dem diese Abschnitte (11, 12) jeweils einen Anteil (14, 15) aufweisen, der in einer außerhalb der Schichtebene verlaufenden Fläche angeordnet ist, und  
jeweils zwischen einem außerhalb der Schichtebene angeordneten Anteil (14) eines p-leitend dotierten Abschnittes (11) eines Bereiches (1) und einem außerhalb der Schichtebene angeordneten Anteil (15) eines n-leitend dotierten Abschnittes (12) eines benachbarten Bereiches (1) ein vertikal zur Schichtebene angeordneter und elektrisch isolierender Distanzbereich (21) vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß  
jeder Distanzbereich (21) mit einem Metallkontakt (5) dergestalt überbrückt ist, daß die durch diesen Distanzbereich voneinander getrennten Anteile (14, 15) elektrisch leitend miteinander verbunden sind, und  
zwischen einem p-leitend dotierten Abschnitt (11) und einem n-leitend dotierten Abschnitt (12) desselben Bereiches (1) jeweils ein undotierter Abschnitt (13) vorhanden ist, der durch einen Metallkontakt (4) elektrisch leitend überbrückt ist.



DE 100 04 390 C 2

DE 100 04 390 C 2

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen thermoelektrischen Generator, der insbesondere als elektrische Spannungsquelle für Halbleiterbauelemente eingesetzt werden kann.

[0002] Unter Ausnutzung des thermoelektrischen Effektes (Seebeck- bzw. Peltier-Effekt) lassen sich Temperaturdifferenzen in elektrische Potentialdifferenzen umwandeln und umgekehrt. Ein auf der Grundlage dieses thermoelektrischen Effektes funktionierendes Thermoelement ist daher geeignet, als elektrische Spannungsquelle zumindest für niedrige Spannungsbereiche verwendet zu werden. Der thermoelektrische Effekt tritt auf, wenn eine Abfolge von Übergängen zwischen n-dotierten und p-dotierten Halbleiterstreifen abwechselnd zwei unterschiedlichen Temperatur-niveaus ausgesetzt wird.

[0003] In der Veröffentlichung von M. Stordeur und I. Stark: "Low Power Thermoelectric Generator - self-sufficient energy supply for micro systems" in IEEE Proc. 16<sup>th</sup> International Conference on Thermoelectrics (1997), Seiten 575 bis 577, ist ein thermoelektrischer Generator beschrieben, bei dem eine Anordnung aus einer Vielzahl von schmalen Folien mit einer jeweiligen Kette von Thermoelementen so zwischen zwei Platten angeordnet ist, daß bei Vorhandensein einer Temperaturdifferenz zwischen den Platten ein elektrischer Strom an den Endkontakten abgegriffen werden kann. Die Thermoelemente sind dabei im wesentlichen gebildet durch einen mehrfach im rechten Winkel abknickenden Streifen dotierten Halbleitermaterials, das abwechselnd p-leitend und n-leitend dotiert ist, wobei die pn-Übergänge abwechselnd mit der einen oder anderen Platte thermisch leitend verbunden sind.

[0004] Ein ähnlicher thermoelektrischer Wandler als Spannungsquelle ist in der Veröffentlichung von H. Glosch et al.: "A thermoelectric converter for energy supply" in Sensors and Actuators 74, 246-250 (1999) beschrieben. Hierbei wird eine Anordnung aus streifenförmigen dotierten Bereichen in einem Siliziumsubstrat, die mit Aluminiumstreifen untereinander verbunden sind, verwendet.

[0005] In der DE 197 16 343 A1 ist eine elektrische Spannungsquelle für Halbleiterbauelemente beschrieben, bei der eine gewellte Schicht aus Halbleitermaterial vorhanden ist, die bereichsweise abwechselnd für elektrische Leitfähigkeit unterschiedlichen Vorzeichens dotiert ist. Diese Schicht ist zwischen thermisch leitenden Schichten so angeordnet, daß die pn-Übergänge nach außen elektrisch isoliert sind und abwechselnd mit einer der thermisch leitenden Schichten in thermischem Kontakt und gegen die jeweils andere thermisch leitende Schicht thermisch isoliert sind.

[0006] In der JP-A-10-303469 ist ein Thermoelement als Dünnschichtbauelement beschrieben, bei dem N-Typ-Dünnschichten und P-Typ-Dünnschichten abwechselnd aufeinander folgend an einer mit wellenförmigen Erhebungen versehenen Oberfläche eines Bauelementes angeordnet und längs der Grate der Erhebungen und längs der Gräben zwischen den Erhebungen mit elektrisch leitenden Verbindungen versehen sind, die einander benachbarte Flanken der Erhebungen verbinden. Die Flanken der Erhebungen sind jeweils vollständig, mit einem Dünnschicht eines bestimmten Vorzeichens bedeckt.

[0007] In der JP-A-11-298052 ist ein thermoelektrisches Element beschrieben, das ein poröses Metall als thermoelektrisches Material und eine damit verbundene Elektrode einer geringen Porosität aufweist. Die p-leitenden und n-leitenden Anteile des Materials sind in einem gewissen Abstand zueinander wellenförmig aufeinander folgend angeordnet, wobei auch hier die vertikal bezüglich der Elektrode

angeordneten Abschnitte durchgehend dasselbe Vorzeichen der Leitfähigkeit aufweisen.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen thermoelektrischen Generator anzugeben, der im Rahmen eines Herstellungsprozesses für Halbleiterbauelemente unter Verwendung der Standardsiliziumtechnologie herstellbar ist. Außerdem soll ein entsprechendes Herstellungsverfahren angegeben werden.

[0009] Diese Aufgabe wird mit dem thermoelektrischen Generator mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. mit dem Herstellungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 4 gelöst. Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0010] Der erfindungsgemäße thermoelektrische Generator ist aus vertikal bezüglich eines Substrates angeordneten Mäandern von Thermopaaren aufgebaut, die ihrerseits aus abwechselnd p-leitend und n-leitend dotiertem Monosilizium bestehen und hintereinander in einer Schichtebene ausgerichtet sind. Die Thermopaare sind elektrisch in Reihe und thermisch parallel geschaltet. Bei vertikalem Wärme- fluß von der Chipoberseite zur Chipunterseite oder umgekehrt stellt sich infolge der vertikalen Anordnung eine Temperaturdifferenz zwischen den Enden eines jeweils p-leitenden oder n-leitenden Abschnittes der Reihe von Thermopaaren ein, wodurch aufgrund des Seebeck-Effektes elektrische Spannungen erzeugt werden, die in Reihenschaltung summiert werden. Jeder n-leitende und p-leitende Abschnitt eines Thermopaars besitzt einen bezüglich der Schichtebenen des Bauelementes vertikalen Anteil, der in einer außerhalb der Schichtebene verlaufenden Fläche an der Flanke eines Dielektrikums angeordnet ist. Eine elektrisch leitende Verbindung zwischen diesen Anteilen wird durch Metallkontakte hergestellt. Das Bauelement ist so strukturiert, daß es sich mittels einer Grabenätzung und zweier anisotroper Implantationen unter schrägen Einfallswinkeln im Rahmen eines herkömmlichen Halbleiterprozeßkonzeptes herstellen läßt. Insbesondere sind keine Herstellungsschritte erforderlich, die über die im Rahmen herkömmlicher BiCMOS-Prozesse angewandten Technologien hinausgehen.

[0011] Es folgt eine genauere Beschreibung des erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generators und des zugehörigen Herstellungsverfahrens anhand eines in den Fig. 1 bis 6 dargestellten Beispiels.

[0012] Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem erfindungsgemäßen Generator im Querschnitt.

[0013] Fig. 2, 4 und 5 zeigen Querschnitte von Zwischenprodukten des Herstellungsverfahrens.

[0014] Fig. 3 und 6 zeigen Aufsichten auf Zwischenprodukte nach verschiedenen Schritten des Herstellungsverfahrens.

[0015] Fig. 1 zeigt den Querschnitt eines Ausschnittes aus einem bevorzugten Ausführungsbeispiel des thermoelektrischen Generators. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist ein SOI-Substrat verwendet. Ein solches SOI-Substrat (Silicon On Insulator) besitzt eine dünne Body-Siliziumschicht über einer Isolationsschicht auf einer vergleichsweise dicken Bulk-Siliziumschicht oder einem Siliziumkörper. Der Generator gemäß Fig. 1 ist in der Body-Siliziumschicht über der Isolationsschicht 2 auf der Bulk-Siliziumschicht 3 ausgebildet. Die Body-Siliziumschicht ist in einzelne voneinander elektrisch isolierte Bereiche 1 strukturiert. Diese Bereiche 1 weisen jeweils einen p-leitend dotierten Abschnitt 11, einen n-leitend dotierten Abschnitt 12 und je nach Herstellungsverfahren dazwischen einen undotierten Abschnitt 13 auf. Die dotierten Abschnitte 11, 12 besitzen jeweils bezüglich der Schichtstruktur vertikale Anteile 14, 15, die die Flanken eines jeweiligen Distanzbereiches 21 aus einem Dielektrikum bedecken. Die isolierenden Bereiche zwischen den dotierten

Abschnitten, d. h. die undotierten Abschnitte 13 und die Distanzbereiche 21, sind mittels Metallkontakten 4, 5 elektrisch leitend überbrückt. Auf diese Weise ist eine Abfolge von p-leitenden und n-leitenden Abschnitten längs eines elektrisch leitenden Streifens realisiert. An dessen Enden läßt sich die erzeugte Spannung abgreifen, wenn in vertikaler Richtung an das Bauelement eine Temperaturdifferenz angelegt wird. Die in der Body-Siliziumschicht vorhandene Struktur ist hier mittels einer thermisch leitenden dielektrischen Deckschicht 22 bedeckt, in der über den oberen Metallkontakten 5 Kontaktlöcher für eine Metallisierung 6 vorhanden sind, mit der einzelne der Thermoelemente elektrisch leitend verbunden sind. Ein thermisch leitendes Material dient als Abdeckschicht 7 oder Passivierung auf der Oberseite des Bauelementes. Diese Abdeckschicht 7 kann gleichzeitig als Wärmequelle vorgesehen sein. Die gewünschte Temperaturdifferenz wird dann durch eine Wärmenenke an der Unterseite des Substrates oder durch die bereits als Wärmenenke fungierende Bulk-Siliziumschicht 3 hervorgerufen.

[0016] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Herstellung des thermoelektrischen Generators geht von einem SOI-Substrat aus, das eine Body-Siliziumschicht aufweist, die von dem Bulk-Silizium durch eine Isolationsschicht getrennt ist. Die Body-Siliziumschicht wird in einzelne Blöcke 10 strukturiert, wie in Fig. 2 bzw. Fig. 3 dargestellt ist. Das geschieht, indem zwischen den Blöcken 10 Gräben bis hinunter auf die Isolationsschicht 2 über der Bulk-Siliziumschicht 3 geätzt werden. Diese Gräben werden dann mit einem Oxid oder einem anderen Dielektrikum 20 aufgefüllt. Aus Fig. 3 ist zu entnehmen, daß die von der Body-Siliziumschicht übrigbleibenden Blöcke 10 vorzugsweise länglich sind und hintereinander in Reihen angeordnet sind, von denen eine Vielzahl parallel zueinander vorhanden sein kann. Die jeweiligen Abmessungen und die Anzahl der Reihen von Blöcken 10 richtet sich nach den jeweiligen Anforderungen in der Anwendung des herzustellenden Generators.

[0017] Mittels einer an sich bekannten Photomaskentechnik wird das Dielektrikum 20 von den Oberseiten der Blöcke 10 weitgehend entfernt. Ein jeweils über den geätzten Gräben verbleibender Anteil wird zur Herstellung einer Hartmaske ausgehärtet. Statt dessen kann das Dielektrikum so weit entfernt werden, daß nur die Gräben zwischen den Blöcken 10 gefüllt bleiben. In diesem Fall wird anschließend über den Gräben eine geeignete Maske, z. B. eine Hartmaske aus Oxid, gesondert aufgebracht. Unter Verwendung dieser Maske wird das dazwischen freiliegende Silizium der Blöcke 10 ausgeätzt. Es wird so die in Fig. 4 im Querschnitt dargestellte Strukturierung hergestellt.

[0018] In Fig. 4 ist erkennbar, daß die Maske 50 außer dem Dielektrikum, das in den Gräben zwischen den Blöcken Distanzbereiche 21 bildet, jeweils seitlich angrenzende Anteile am Rand der Blöcke bedeckt. Die Blöcke werden so ausgeätzt, daß Aussparungen 23 gebildet werden, die jeweils einen zu der Isolationsschicht 2 koplanaren Schichtanteil und zwei einander gegenüberliegende Flanken an den Distanzbereichen 21 übrig lassen. Mittels zweier Implantationen, die in zwei verschiedenen schrägen Einfallswinkeln vorgenommen werden und die in Fig. 4 mit den Pfeilen 8, 9 angedeutet sind, werden Dotierstoffe für elektrische Leitfähigkeit unterschiedlicher Vorzeichen in das Silizium eingebracht. Es werden so die p-leitend dotierten Abschnitte 11 und die n-leitend dotierten Abschnitte 12 gebildet, zwischen denen je nach den Abmessungen der Strukturierung und der Wahl der Implantationswinkel ggf. ein undotierter Abschnitt 13 übrig bleibt.

[0019] Fig. 5 zeigt das Zwischenprodukt des Verfahrens

im Querschnitt, nachdem die Masken 50 entfernt und statt dessen Metallkontakte 4, 5 zur Überbrückung der Distanzbereiche 21 hergestellt worden sind. Die Struktur wird dann mit einem Dielektrikum 22 aufgefüllt und überdeckt, womit auch die in den Blöcken ausgeätzten Aussparungen 23 gefüllt werden. In dem Dielektrikum 22 können Kontaktlöcher 60 (in Fig. 5 gestrichelt angedeutet) hergestellt werden, die für einen elektrischen Anschluß der oberen Metallkontakte 5 vorgesehen sind. In diese Kontaktlöcher 60 können dann insbesondere die in Fig. 1 dargestellten Metallisierungen 6 zur Verbindung einzelner Thermoelemente eingebracht werden.

[0020] Fig. 6 zeigt die Struktur in Aufsicht, wobei die verdeckten Konturen der dotierten Abschnitte 11, 12, der Distanzbereiche 21 zwischen den Siliziumblöcken und der Metallkontakte 4, 5 gestrichelt eingezeichnet sind. Auf der Oberseite befindet sich zur Verdeutlichung des Prinzips eine Leiterbahn der Metallisierung 6, die veranschaulicht, wie die elektrisch leitende Verbindung zwischen Thermoelementen bewirkt ist. Vorzugsweise werden solche leitenden Verbindungen jeweils zwischen den Thermoelementen an Enden zweier parallel zueinander angeordneter Reihen von Thermoelementen angebracht.

[0021] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Generators und des Herstellungsverfahrens sind der monolithische Aufbau, die vertikale Strukturierung unter Ausnutzung der Chipoberseite und der Chipunterseite zur Wärmeankopplung und die Möglichkeit, die vertikalen Abmessungen der Thermoelemente mit einigen Mikrometern thermoelektrisch effektiven Monosiliziums vergleichsweise groß herzustellen. Bei der Herstellung wird die Siliziumtechnologie ausgenutzt, um in Monosiliziummaterial unter Verwendung von an sich bekannten Ätz-, Dotierungs- und Abscheidungsverfahren metallisch miteinander verbundene Thermoelemente herzustellen, die die Funktion einer monolithisch integrierten Stromversorgung von Mikrosystemen erfüllen können.

#### Patentansprüche

1. Thermoelektrischer Generator, bei dem eine mit Dotierungen versehene Schicht aus Halbleitermaterial vorhanden ist, die nach einer Schichtebene ausgerichtet und zwischen thermisch leitenden Materialien angeordnet ist, bei dem die Schicht in Bereiche (1) strukturiert ist, die jeweils einen p-leitend dotierten Abschnitt (11) und einen n-leitend dotierten Abschnitt (12) aufweisen, bei dem diese Abschnitte (11, 12) jeweils einen Anteil (14, 15) aufweisen, der in einer außerhalb der Schichtebene verlaufenden Fläche angeordnet ist, und jeweils zwischen einem außerhalb der Schichtebene angeordneten Anteil (14) eines p-leitend dotierten Abschnittes (11) eines Bereiches (1) und einem außerhalb der Schichtebene angeordneten Anteil (15) eines n-leitend dotierten Abschnittes (12) eines benachbarten Bereiches (1) ein vertikal zur Schichtebene angeordneter und elektrisch isolierender Distanzbereich (21) vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Distanzbereich (21) mit einem Metallkontakt (5) derart überbrückt ist, daß die durch diesen Distanzbereich voneinander getrennten Anteile (14, 15) elektrisch leitend miteinander verbunden sind, und zwischen einem p-leitend dotierten Abschnitt (11) und einem n-leitend dotierten Abschnitt (12) desselben Bereiches (1) jeweils ein undotierter Abschnitt (13) vorhanden ist, der durch einen Metallkontakt (4) elektrisch

leitend überbrückt ist.

2. Generator nach Anspruch 1, bei dem die Distanzbe-  
reiche (21) und die außerhalb der Schichtebene ange-  
ordneten Anteile (14, 15) der dotierten Abschnitte (11,  
12) in Flächen senkrecht zu der Schichtebene ausge- 5  
richtet sind.

3. Generator nach Anspruch 1 oder 2, bei dem eine  
Metallisierung (6) vorhanden ist, mittels derer ein Teil  
der Metallkontakte miteinander verbunden ist.

4. Verfahren zur Herstellung eines thermoelektrischen 10  
Generators nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem  
ausgehend von einem SOI-Substrat mit einer Body-Si-  
liziumschicht über einer Isolationsschicht (2)  
in einem ersten Schritt die Body-Siliziumschicht bis  
auf voneinander isolierte Blöcke (10) aus Silizium ent- 15  
fernt wird,

in einem zweiten Schritt zwischen diese Blöcke ein Di-  
elektrikum (20) abgeschieden wird,

in einem dritten Schritt unter Verwendung einer Maske 20  
das Silizium aus den mittleren Bereichen der Blöcke  
(10) so weit abgetragen wird, daß jeweils ein flächiger  
Anteil (11, 12, 13) parallel zu der Isolationsschicht (2)  
und daran angrenzend zwei einander gegenüberlie-  
gende flächige Anteile (14, 15) an den Flanken des Di-  
elektrikums (20) übrig bleiben, 25

in einem vierten Schritt in schrägen Einfallswinkeln  
anisotrop Dotierstoffe so in das verbliebene Silizium  
eingebracht werden, daß abwechselnd n-leitend und p-  
leitend dotierte Abschnitte hergestellt werden, womit  
die an den Flanken des Dielektrikums vorhandenen 30  
Anteile (14, 15) entweder n-leitend oder p-leitend do-  
tiert werden, und

in einem fünften Schritt Metallkontakte (4, 5) zur elek-  
trisch leitenden Verbindung zwischen aufeinanderfol- 35  
genden dotierten Abschnitten (11, 12) aufgebracht wer-  
den.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

FIG 1

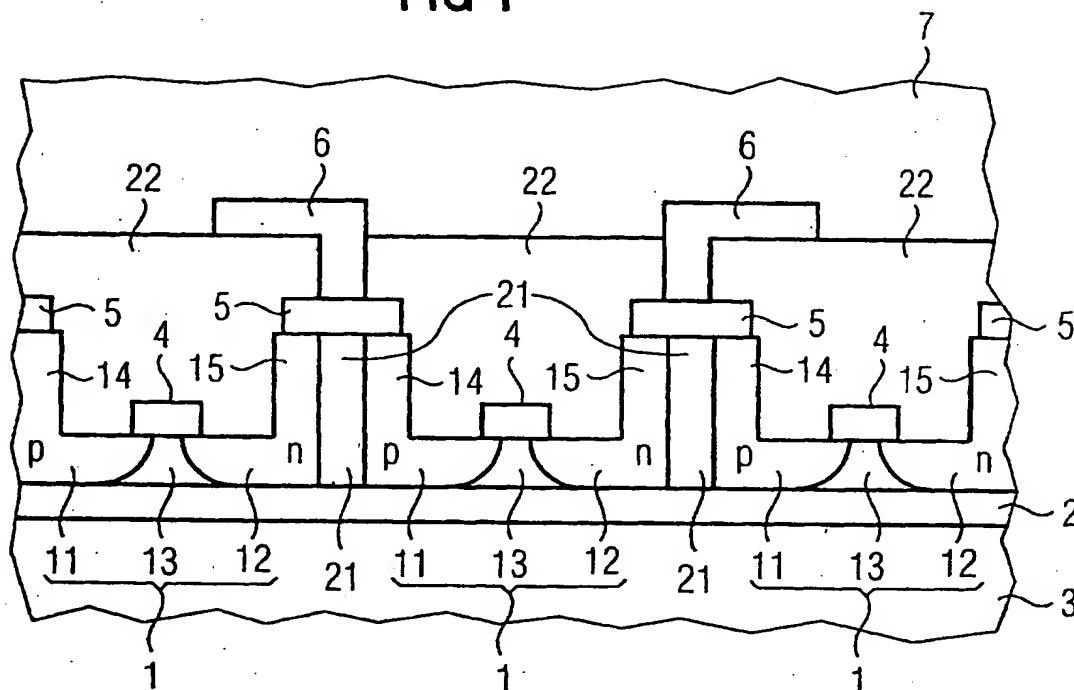


FIG 2

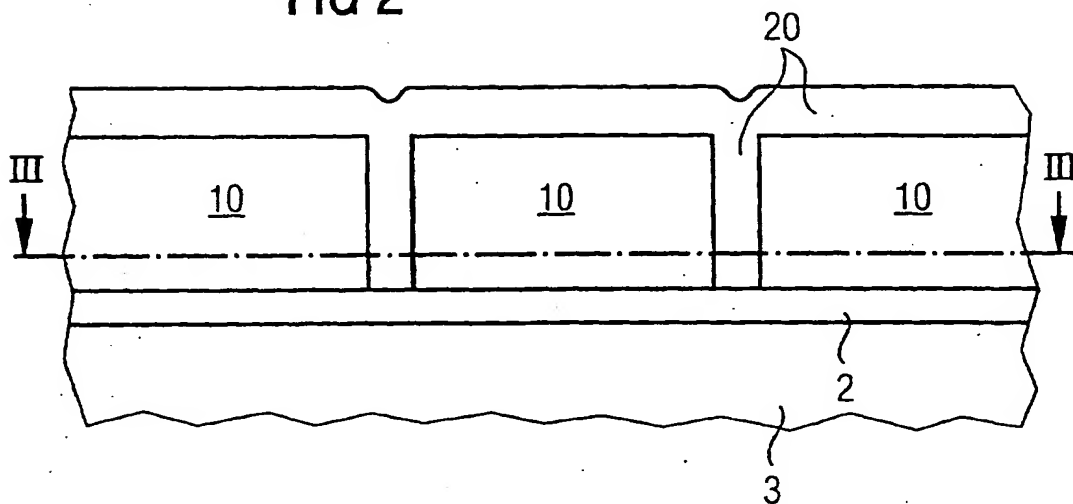


FIG 3

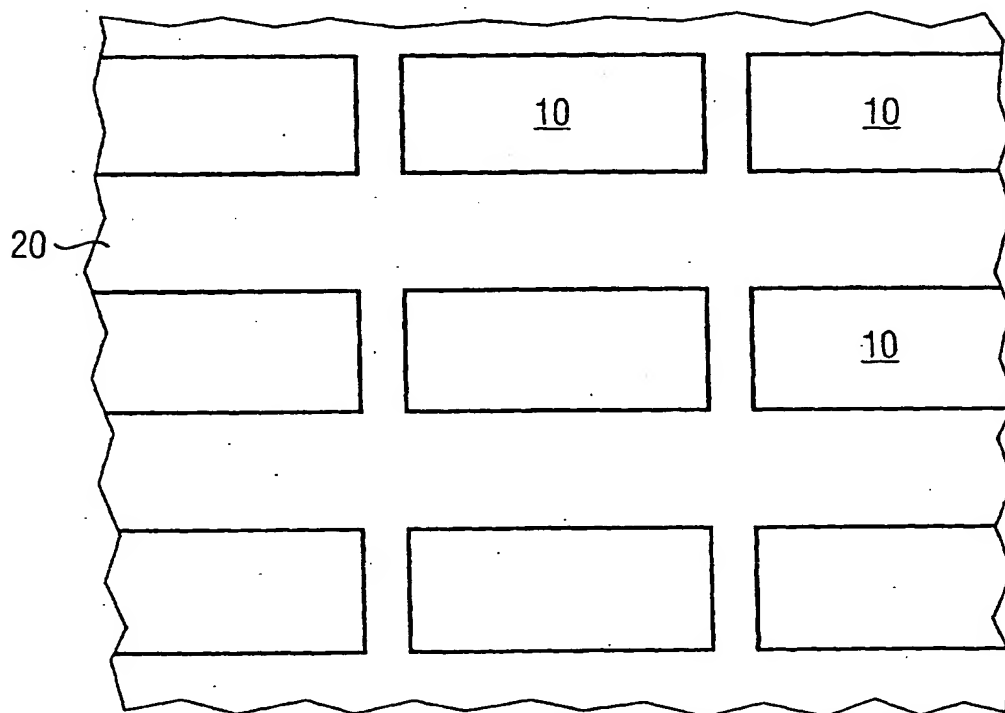


FIG 4

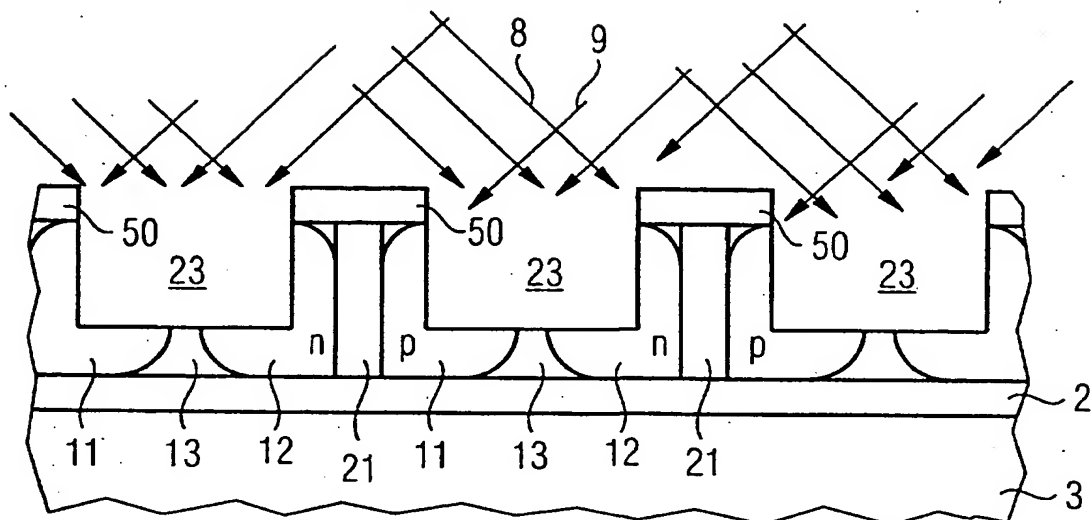


FIG 5

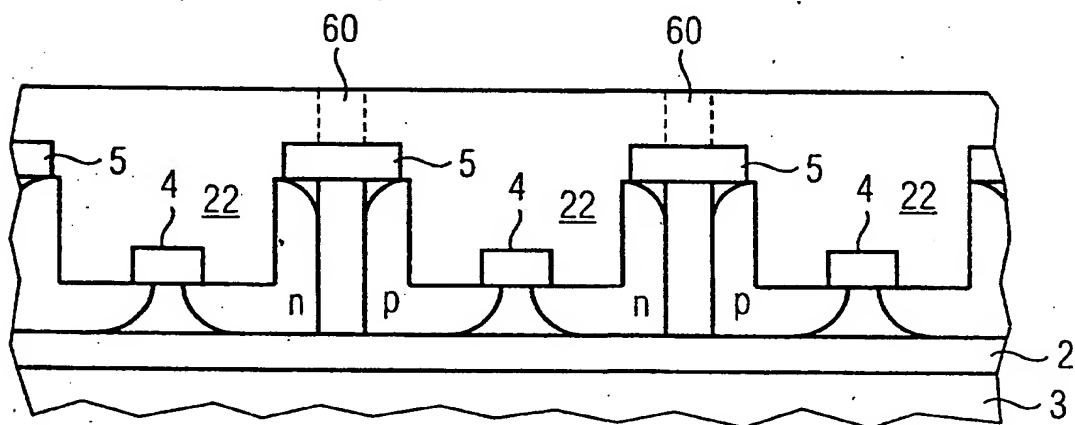
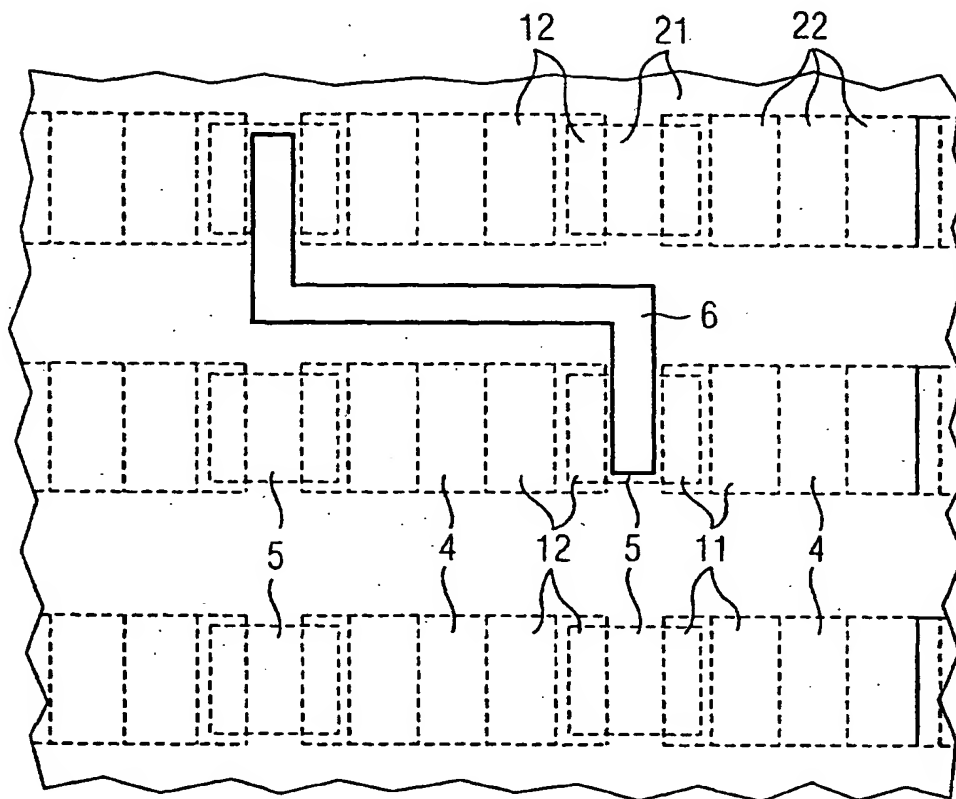


FIG 6



DOCKET NO. M+D-IT-477  
 SERIAL NO. \_\_\_\_\_  
 APPLICANT: Gustav Müller et al.

CORNER AND GREENBERG P.A.  
 P.O. BOX 2480  
 HOLLYWOOD, FLORIDA 33022  
 TEL. (954) 925-1100